

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-252858

(43)Date of publication of application : 09.09.1994

(51)Int.Cl.

H04B 10/10

H04B 10/22

H04B 10/18

(21)Application number : 05-341259

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 10.12.1993

(72)Inventor : SAKANAKA TETSUO
ORINO TATEKI

(30)Priority

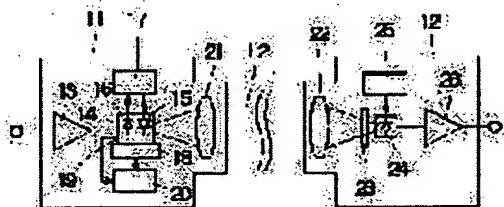
Priority number : 04359838 Priority date : 30.12.1992 Priority country : JP

(54) INFRARED RAY SPACIAL COMMUNICATIONS EQUIPMENT

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain optical communication equipment not affected by an absorption spectrum in air and using an optical signal with an output level safe to human eyes.

CONSTITUTION: The optical spacial communications is executed by detecting an optical signal emitted from a semiconductor laser 15 provided in a transmitter 11 with a photodetector 24 in a receiver 12. An output level of the optical signal emitted from the transmitter 11 is suppressed to be safe to human eyes and the wavelength is selected so as not to be affected by absorption spectrum in air.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 18.10.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 09.10.2001

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 B 10/10 10/22 10/18		8523-5K 8523-5K	H 0 4 B 9/ 00	R M
			審査請求 未請求 請求項の数 6	F D (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平5-341259

(22)出願日 平成 5 年(1993)12月10日

(31)優先権主張番号 特願平4-359838

(32)優先日 平 4 (1992)12月30日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子 3 丁目30番 2 号

(72)発明者 坂中 徹雄

神奈川県川崎市中原区今井上町53番地 キ

ヤノン株式会社小杉事業所内

(72)発明者 折野 干城

神奈川県川崎市中原区今井上町53番地 キ

ヤノン株式会社小杉事業所内

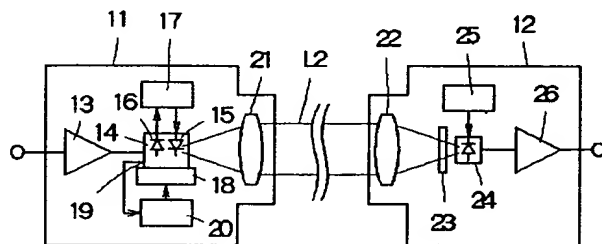
(74)代理人 弁理士 日比谷 征彦

(54)【発明の名称】 赤外光空間通信装置

(57)【要約】

【目的】 大気による吸収スペクトルの影響を受けず、眼に安全な出力レベルの光信号を使用した光空間通信装置を提供する。

【構成】 送信機 1 1 に設けられた半導体レーザー 1 5 から出射された光信号を、受信機 1 2 内の受光素子 2 4 で検出することにより、光空間通信を行うように構成されている。送信機 1 1 から出射される光信号の出力は眼に安全なレベルに抑えられ、またその波長には、大気による吸収スペクトルの影響を受けないものを選択する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 発光素子に半導体レーザーを用い、波長950nm～1400nmの赤外波長域の光信号を大気中を伝搬させて通信を行う赤外光空間通信装置であって、前記赤外光空間通信装置の全使用温度環境下で、前記赤外光空間通信装置の伝送距離が100m以上200m未満の場合は967nm以上1100nm未満の波長範囲内又は1165nm以上1315nm未満の波長範囲内の何れかの発振波長L (nm) を持つ前記半導体レーザーを使用し、前記伝送距離が200m以上の場合は986nm以上1090nm未満の波長範囲内又は1225nm以上1295nm未満の波長範囲内の何れかの発振波長L (nm) を持つ前記半導体レーザーを使用し、更に送信部出射口から受信部入射口に至る伝送路内の如何なる場所においても、前記半導体レーザーの発振波長L (nm) が950nm～1050nmの波長範囲内である場合は、放射照度が $6.47 \cdot 10^{(L-700)/500}$ (W/m²) 以下とし、1050nm～1400nmの波長範囲内である場合は 32.3 (W/m²) 以下とするように前記半導体レーザーの出力を制御することを特徴とする赤外光空間通信装置。

【請求項2】 前記受信部において受光素子前面に、波長の透過域が、前記伝送距離が100m以上200m未満の場合は967nm以上1110nm未満の波長範囲内又は1165nm以上1315nm未満の波長範囲内の光学的バンドパスフィルタを設け、前記伝送距離が200m以上の場合は986nm以上1090nm未満の波長範囲内又は1225nm以上1295nm未満の波長範囲内の光学的バンドパスフィルタを設けた請求項1に記載の赤外光空間通信装置。

【請求項3】 互いに偏波面が90°ずつ異なる偏光により送信光と受信光を分離して、大気中で双方向通信を行う赤外光空間通信装置であって、90°ずつ偏波面の異なる前記偏光を互いに分離するための偏光ビームスプリッタを備え、該偏光ビームスプリッタは効率良く分離できる波長が前記伝送距離が100m以上200m未満の場合は967nm以上1110nm未満の波長範囲内又は1165nm以上1315nm未満の波長範囲内にあるものを使用し、前記伝送距離が200m以上の場合は986nm以上1090nm未満の波長範囲内又は1225nm以上1295nm未満の波長範囲内にあるものを使用した請求項1に記載の赤外光空間通信装置。

【請求項4】 発光素子に半導体レーザーを用い、波長950nm～1400nmの赤外波長域の光信号を大気中を伝搬させて通信を行う赤外光空間通信装置であって、前記赤外光空間通信装置の全使用温度環境下で、前記赤外光空間通信装置の伝送距離が100m以上200m未満の場合は967nm以上1100nm未満の波長範囲内又は1165nm以上1315nm未満の波長範囲内の何れかの発振波長L (nm) を持つ前記半導体レ

ザーを使用し、前記伝送距離が200m以上の場合は986nm以上1090nm未満の波長範囲内又は1225nm以上1295nm未満の波長範囲内の何れかの発振波長L (nm) を持つ前記半導体レーザーを使用し、更に送信部出射口から受信部入射口に至る伝送路内の如何なる場所においても、前記半導体レーザーの発振波長L (nm) が950nm～1050nmの波長範囲内である場合は、放射照度が $11.5 \cdot 10^{(L-700)/500}$ (W/m²) 以下とし、1050nm～1400nmの波長範囲内である場合は 57.5 (W/m²) 以下とするように前記半導体レーザーの出力を制御することを特徴とする赤外光空間通信装置。

【請求項5】 前記受信部において受光素子前面に、波長の透過域が、前記伝送距離が100m以上200m未満の場合は967nm以上1110nm未満の波長範囲内又は1165nm以上1315nm未満の波長範囲内の光学的バンドパスフィルタを設け、前記伝送距離が200m以上の場合は986nm以上1090nm未満の波長範囲内又は1225nm以上1295nm未満の波長範囲内の光学的バンドパスフィルタを設けた請求項4に記載の赤外光空間通信装置。

【請求項6】 互いに偏波面が90°ずつ異なる偏光により送信光と受信光を分離して、大気中で双方向通信を行う赤外光空間通信装置であって、90°ずつ偏波面の異なる前記偏光を互いに分離するための偏光ビームスプリッタを備え、該偏光ビームスプリッタは効率良く分離できる波長が前記伝送距離が100m以上200m未満の場合は967nm以上1110nm未満の波長範囲内又は1165nm以上1315nm未満の波長範囲内にあるものを使用し、前記伝送距離が200m以上の場合は986nm以上1090nm未満の波長範囲内又は1225nm以上1295nm未満の波長範囲内にあるものを使用した請求項4に記載の赤外光空間通信装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、大気中に変調を施された光信号を伝搬させることにより、離れた地点間で通信を行う赤外光空間通信装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 光空間通信は光信号を自由空間中を伝搬させ、数100m～数kmの遠隔地点間での通信を行うものであり、例えば図4に示すように構成されている。送信側の発光素子1から出射された光ビームはコリメート用光学系2により平行ビームL1となり、大気中を伝達して受信側の集光用光学系3で集光された後に、受光素子4で受光される。受光素子4で受光された光信号は電気信号に変換されて出力される。

【0003】 発光源としては、高出力の点光源であって、光ビームを容易に拡がりの小さい平行ビームとすることができ、電気信号で直接高速変調が行える半導体レ

ーザーが好適に使用されている。この場合に、発振波長が810nm～840nmの範囲内にある半導体レーザーでは、従来から高出力かつ信頼性の高いものが開発されている。また、この波長帯域では大気散乱による減衰も可視域に比べて小さく、高感度で低雑音の受光素子が入手し易いという利点がある。

【0004】地上の大気圏で使用する場合には、この方式は大気による散乱や吸収の影響を受けるために、光強度が減衰する。大気による散乱には、大気分子によるレーレ散乱、光の波長とほぼ同じ大きさのちり等の微粒子（エアロゾル）、霧、もや等によるミー散乱、及び雨滴や雪などの大きな粒子による幾何光学的な散乱等に分類される。

【0005】このうち幾何光学的な散乱は波長に対する依存性を持たないので、使用波長を決める際には考慮しなくてよい。レーレ散乱の大きさは波長の4乗に反比例して変化し、可視光域では比較的大きいが、波長1μm近辺以上の赤外域では殆ど問題にならない。

【0006】ミー散乱の大きさはエアロゾル等の粒子径の分布により決まり、理論的な解析は複雑であるが、図5に示すように波長が長くなるほど小さくなる。図5はミー散乱の散乱特性を示すグラフ図である。図5の各曲線はそれぞれの粒子径を持つ粒子だけが存在すると仮定して計算したものであり、実際には様々の径の粒子が分布しているが、波長が長くなるほど散乱が小さくなるという傾向は同様である。

【0007】このようなことから散乱による減衰を考えた場合は、波長が長くなるほど減衰は小さくなり、可視光に近い近赤外域よりも波長1.0μm近辺以上の赤外域を使用する方が、光空間通信装置には有利であると云える。

【0008】大気を構成する分子による吸収に関しては、図6～図9に示すように従来から水蒸気や二酸化炭素等による吸収帯が赤外域の広い範囲に渡って存在することが知られている。ここで、図6は大気中の分子による吸収スペクトルのグラフ図であり、図7は炭酸ガスによる吸収スペクトルのグラフ図である。図8は水蒸気による吸収スペクトルのグラフ図であり、図9は大気の透過率を示すグラフ図である。波長が1.0μm以下の近赤外域では、図10、図11、図12の太陽放射光のスペクトル分布のグラフ図に示すように、吸収スペクトルが存在することが知られている。

【0009】ただし、この近赤外域のデータは太陽の大気と地球の高層大気の影響も含んでおり、実際に光空間通信を行う地表に近い場所とは大気の構成要素も異なるために、図10、図11、図12とは必ずしも同じスペクトル分布になるとは限らない。更に、100kmもの大気圏を透過後の吸収スペクトルであるために、地表近くにおける数100m～数kmの伝搬時にどの程度の影響があるかということは、直接これらのデータからは判

別できない。

【0010】更に、図10、図11、図12では或る幅を持った吸収帯が示されているが、正確な波長が記述されていない上に、図10、図11、図12では少しずつ波長の値が異なるため、使用する半導体レーザーの波長がどの程度の吸収の影響を受けるかということは、実験的に確認する必要がある。

【0011】このような理由から、大気の影響を考慮して光空間通信装置の設計を行うためには、正確な吸収波長の把握と、太陽スペクトルだけでなく実際に地上で光を伝搬させて測定した吸収のデータとが必要である。ここで、太陽スペクトルの測定は大気中の伝搬距離が長いために、吸収による変化が大きく現れるという利点があり、それに対して地上での測定は伝搬距離が長く取れないため吸収による変化量が小さく、吸収の小さなスペクトルが出難くなるが、実際の伝送時の減衰量が分かるという利点がある。

【0012】図13は先に述べたように、発明者らが太陽光の大気透過後の分光分布を詳細に測定したものであり、図14は地上で白色光を約50m伝搬させた場合の分光分布を示すグラフ図である。また、図15はこれらの分光分布を測定した際の測定系の構成図である。また、別に半導体レーザー光を大気中を伝搬させて、吸収による減衰量を光パワーメータを使用して測定した結果との比較から、図14における1目盛が50mに対して約15dBの減衰であることが分かった。

【0013】以上は吸収、散乱といった信号に減衰を与える要素について説明したが、その外に光空間通信に影響を及ぼす要素として背景光雑音がある。これは本来の信号光つまり半導体レーザー発振光以外の周辺からの外来光が受光素子に入射し、光起電流の直流成分によるショット雑音が増加することにより、信号のS/N比を低下させるものである。光空間通信装置は殆どが屋外設置であるために、外来光はその殆どが太陽によるものである。太陽放射光のスペクトル成分は図10、図11、図12からも分かるように波長が長くなるに従って小さくなるので、長波長側では短波長側に比べて背景光雑音が小さくできる。この意味からも、波長1μm近辺以上の赤外域が有利といえることができる。

【0014】以上の検討により、半導体レーザーを発光素子として用いた光空間通信装置では、使用波長つまり半導体レーザーの発振波長は1μm近辺以上の赤外域で、かつ吸収による影響の少ない波長帯で選択することがよいということになる。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の発振波長が810nm～840nmの間にある半導体レーザーを用いた光空間通信装置では、図13の太陽光の大気透過後の分光分布のグラフ図に示すように、この付近に大気吸収帯が存在するため、吸収による光の減衰

を受けて、受信信号レベルが低下する場合がある。

【0016】大気吸収帯は、発明者らの測定によると吸収スペクトル幅が通常0.1nm以下の狭いスペクトルが集合したものである。また、発振波長が810nm～840nm間の高出力の半導体レーザーは一般に単一縦モード発振しており、発振波長が0.01nm以下と非常に狭い。ここで、半導体レーザーの発振波長は動作温度により図16の半導体レーザーの発振波長の温度特性を示すグラフ図に示すように階段状に変化し、通常の使用状態では半導体レーザーの発振波長が大気吸収スペクトルと重なることは少ない。しかし、半導体レーザーの動作温度が変化して、図16の拡大図である図17中のAで示すように半導体レーザーの発振波長が大気吸収スペクトル幅に比べて半導体レーザーの発振波長の方が狭いため、一時的に吸収による減衰が発生することが起こり得る。

【0017】従って、従来の光空間通信装置は、大気による吸収を十分考慮して設計されたものではなく、特に大気中の伝搬距離の長いものについては信頼性に問題のあるものであったと云える。

【0018】もう1つの従来の光空間通信装置の問題点として、半導体レーザーの出射光の人間の眼に対する安全性がある。半導体レーザーは高輝度の点光源であり、コヒーレンス性が高い。これは通信の用途には好都合であるが、人間の眼に入射した場合に、網膜上に極めて小さなスポットとなって結像するため危険性が高い。

【0019】上記の大気吸収による信号光の減衰の問題を解決する手段として、大出力の半導体レーザーを使用して減衰に対する許容量を増やし、吸収の影響を小さくすることは技術的には可能であるが、人間の眼に対する危険性を考慮するとむやみと大出力の半導体レーザーを使用することはできない。人間の眼に対する影響に対しては、半導体レーザー出射光の全放射パワーではなく、単位断面積当たりのパワー（以下放射照度と云う）で考える必要がある。全放射パワーが同じであれば出射ビーム径を大きくする、つまりコリメートレンズ径を大きくすると放射照度が小さくなるが、コストや容積、重量等の面で実用上大きくするにも限界がある。

【0020】従来の光空間通信装置には出射ビーム径が小さいため、放射照度が眼に危険なレベルとなり、取り扱いに当たっては保護眼鏡を必要と場合もある。このような光空間通信装置は、試験的に特定の場所で特定の人間が使用する限りは余り問題にならないが、実用的な装置として広く一般的に普及するためには、常に安全に使用できるものでなくてはならない。そのためには、光信号の出力を眼に安全なレベルに抑え、大気による吸収等による光の減衰の影響を受けず、長距離通信を可能にする、という3つの課題を同時に解決する必要がある。

【0021】本発明の目的は、光信号の出力を眼に安全

なレベルに抑え、大気による吸収スペクトルの影響を受けずに、長距離通信を可能とする赤外光空間通信装置を提供することにある。

【0022】

【課題を解決するための手段】上述の目的を達成するための第1発明に係る赤外光空間通信装置は、発光素子に半導体レーザーを用い、波長950nm～1400nmの赤外波長域の光信号を大気中を伝搬させて通信を行う赤外光空間通信装置であって、前記赤外光空間通信装置の全使用温度環境下で、前記赤外光空間通信装置の伝送距離が100m以上200m未満の場合は967nm以上1100nm未満の波長範囲内又は1165nm以上1315nm未満の波長範囲内の何れかの発振波長L

(nm)を持つ前記半導体レーザーを使用し、前記伝送距離が200m以上の場合は986nm以上1090nm未満の波長範囲内又は1225nm以上1295nm未満の波長範囲内の何れかの発振波長L(nm)を持つ前記半導体レーザーを使用し、更に送信部出口から受信部入口に至る伝送路内の如何なる場所においても、前記半導体レーザーの発振波長L(nm)が950nm～1050nmの波長範囲内である場合は、放射照度が $6.47 \cdot 10^{(L-700)/500}$ (W/m²)以下とし、1050nm～1400nmの波長範囲内である場合は32.3 (W/m²)以下とするように前記半導体レーザーの出力を制御することを特徴とする。

【0023】また第2発明に係る赤外光空間通信装置は、発光素子に半導体レーザーを用い、波長950nm～1400nmの赤外波長域の光信号を大気中を伝搬させて通信を行う赤外光空間通信装置であって、前記赤外光空間通信装置の全使用温度環境下で、前記赤外光空間通信装置の伝送距離が100m以上200m未満の場合は967nm以上1100nm未満の波長範囲内又は1165nm以上1315nm未満の波長範囲内の何れかの発振波長L(nm)を持つ前記半導体レーザーを使用し、前記伝送距離が200m以上の場合は986nm以上1090nm未満の波長範囲内又は1225nm以上1295nm未満の波長範囲内の何れかの発振波長L(nm)を持つ前記半導体レーザーを使用し、更に送信部出口から受信部入口に至る伝送路内の如何なる場所においても、前記半導体レーザーの発振波長L(nm)が950nm～1050nmの波長範囲内である場合は、放射照度が $11.5 \cdot 10^{(L-700)/500}$ (W/m²)以下とし、1050nm～1400nmの波長範囲内である場合は57.5 (W/m²)以下とするように前記半導体レーザーの出力を制御することを特徴とする。

【0024】

【作用】上述の構成を有する第1発明に係る赤外光空間通信装置は、伝送距離が100m以上200m未満の場合は967nm以上1110nm未満の波長範囲内又は

1165 nm以上1315 nm未満の波長範囲内の発振波長 L (nm)を持つ半導体レーザーを使用し、伝送距離が200 m以上の場合は986 nm以上1090 nm未満の波長範囲内又は1225 nm以上1295 nm未満の波長範囲内の発振波長 L (nm)を持つ半導体レーザーを使用し、更に、送信部出射口から受信部入射口に至る伝送路内の如何なる場所においても放射照度は半導体レーザーの発振波長 L (nm)が $950 \text{ nm} \sim 1050 \text{ nm}$ の波長範囲内である場合は $6.47 \cdot 10^{(L-700)/500}$ (W/m^2) 以下に抑え、 $1050 \text{ nm} \sim 1400 \text{ nm}$ の波長範囲である場合は 32.3 (W/m^2) 以下に抑えるように半導体レーザーの出力を制御する。

【0025】また第2発明に係る赤外光空間通信装置は、伝送距離が100 m以上200 m未満の場合は967 nm以上1110 nm未満の波長範囲内又は1165 nm以上1315 nm未満の波長範囲内の発振波長 L (nm)を持つ半導体レーザーを使用し、伝送距離が200 m以上の場合は986 nm以上1090 nm未満の波長範囲内又は1225 nm以上1295 nm未満の波長範囲内の発振波長 L (nm)を持つ半導体レーザーを使用し、更に、送信部出射口から受信部入射口に至る伝送路内の如何なる場所においても放射照度は半導体レーザーの発振波長 L (nm)が $950 \text{ nm} \sim 1050 \text{ nm}$ の波長範囲内である場合は $11.5 \cdot 10^{(L-700)/500}$ (W/m^2) 以下に抑え、 $1050 \text{ nm} \sim 1400 \text{ nm}$ の波長範囲である場合は 57.5 (W/m^2) 以下に抑えるように半導体レーザーの出力を制御する。

【0026】

【実施例】本発明を図1～図3に図示の実施例に基づいて詳細に説明する。図1は第1の実施例の構成図であり、送信機11及び受信機12が対面した光通信装置である。入力信号は増幅器13を介して、パッケージ14内に設けられ単一縦モード又はそれに近似されるモードで発振する半導体レーザー15に接続されている。また、パッケージ14内には半導体レーザー15の出力を検出する出力モニタ用フォトダイオード16が設けら

れ、出力モニタ用フォトダイオード16の出力は半導体レーザー15を制御する出力制御回路17に接続されている。更に、パッケージ14には冷却素子18及び温度センサ19が設けられ、温度センサ19の出力は冷却素子18を制御する温度制御回路20に接続されている。そして、半導体レーザー15による光ビームはコリメートレンズ21を介して受信機12への送信を行うようになっている。

【0027】また、受信機12内の送信機11からの光路上には、集光光学系22、バンドパスフィルタ23、受光素子24が順次に配列され、受光素子24には高圧のバイアス電圧を供給する電源25が接続されている。更に、受光素子24からは増幅器26を介して出力信号が出力されるようになっている。

【0028】送信に際しては、入力信号は増幅器13により増幅された後にパッケージ14に入力され、半導体レーザー15はこの入力信号を光信号に変換する。半導体レーザー15の発振光はコリメートレンズ21により平行ビーム $L2$ となって空間に送出される。このとき、出力制御回路17は出力モニタ用フォトダイオード16からの信号を予め設定した基準値と比較し、半導体レーザー15の出力を一定に保つように、半導体レーザー15の順方向直流電流を制御する所謂APC (AutoPower Control)動作を行う。また、温度センサ19はパッケージ14の温度を検出し、温度制御回路20からの出力に従ってパッケージ14を冷却する。

【0029】また、APCで制御される半導体レーザー15の出力パワーの設定は、通信上の要求からは高出力なほど良好であるが、従来例の問題で述べたように、人間の眼に対する安全性を考慮して決定しなければならない。半導体レーザーを含むレーザの安全基準に関しては、安全性の指標としてJIS-C6802等により、人間の眼等に対する露光と角膜における最大許容露光量(MPE)が表1のように定められている。

【0030】

【表1】

露光時間 t (秒) 波長 λ (nm)	$<10^{-9}$	10^{-9} $\}$ 10^{-7}	10^{-7} $\}$ $1.8 \cdot 10^{-5}$	$1.8 \cdot 10^{-5}$ $\}$ $5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$ $\}$ 10	$10 \sim 10^3$	$10^3 \sim 10^4$	10^4 $\}$ $3 \cdot 10^4$	限界 開口 mm
200~302.5		$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$							1
302.5~315	$3 \cdot 10^{10}$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ($t < T_1$) $C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ($t < T_2$)				$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
315~400		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		
400~550						$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	10^{-2} $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	7	
550~700	$5 \cdot 10^6$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$18 \cdot t^{0.75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$18 \cdot t^{0.75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ($t < T_2$) $C_3 \cdot 10^2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ($t \geq T_2$)	$C_3 \cdot 10^2$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$			
700~1050	$5 \cdot C_4 \cdot 10^6$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \cdot C_4 \cdot 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$18 \cdot C_4 \cdot t^{0.75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$32 \cdot C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$			
1050~1400	$5 \cdot 10^7$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$90 \cdot t^{0.75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$16 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$			
1400~ 10^5	10^{11} $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5600 \cdot t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		1	
$10^5 \sim 10^6$	10^6 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5600 \cdot t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		11	

$$C_4 = 10^{(L-700)/500}$$

【0031】本実施例では、送信機11の出射口、即ちコリメートレンズ21の出口において放射照度がMPEを越えないように出力制御回路17から半導体レーザー15の出力を設定し、送信機11から受信機12までの間の光路中のどの場所においても、平行ビームL2を裸眼で直視しても安全にしている。通常では、ビームは多少の拡がり角を有するため、送信機11の出射口が条件的に最も放射照度が高くなる。

【0032】なお、表1における露光時間tの決定方法は「実際に起こり得る時間」とされているだけであり、明確な規定はない。本発明の赤外光空間通信装置は意図してコリメートレンズ21から送信機11内を覗き込むような作業を想定したものではないため、実際に起こり得る時間は通常は数秒程度である。ただし、作業対象者を特定の作業員から不特定の第三者まで広げた場合に、「実際に起こり得る時間」を予想することが難しくなるので、時間を多めに考えておく必要がある。そこで、安全係数を10倍程度として露光時間を60秒とすれば十分に安全性を確保できると考えられる。

【0033】波長L (nm) が1000nm~1400nm付近の赤外域での露光時間60秒に対するMPEを表1から求めると、波長L (nm) が950nm~1050nmの場合は式(1)、波長L (nm) が1050nm~1400nmの場合は式(2) のようになる。なお、表1では放射エネルギーで表現しているが、この場合は連続発振光なので放射照度H (W/m²) で表現することができる。

$$H = 6.47 \cdot C_4 \quad [\text{ただし、} C_4 = 10^{(L-700/500)}] \quad (\text{W/m}^2) \quad \dots(1)$$

$$H = 32.3 \quad (\text{W/m}^2) \quad \dots(2)$$

【0034】例えば、波長L (nm) が1000nm近辺の半導体レーザー15を使用することを考えると、MPEは式(1) から25.7 (W/m²) が得られる。半導体レーザー15からのビームは中心部が強度の強いガウス型強度分布をしており、コリメートレンズ21の径が仮に100mmで、レンズのF値が1.8程度とすると、平行ビームL2の中心部の最大照度を25.7 (W/m²) 以下に抑えるためには、半導体レーザー15の出力パワーは37 (mW) 以下にする必要がある。当然、コリメートレンズ21の径がこれよりも小さい場合は更に出力を抑える必要がある。

【0035】ところで、上述した式(1)、(2) においては、作業員を不特定の第三者まで広げた場合について考えた。しかし、空間に光ビームを伝搬させて通信を行うと云う装置の性格から考えて、不特定の第三者が光ビームを覗いて通信を遮断する可能性のある場所での接地は実用性から見て通常では考えられない。また、雨や霧等による散乱や、ミッド散乱による減衰を考えると、出力パワーを多くしたほうが通信の信頼性を高くする点で有利である。

【0036】このような理由から「実際に起こり得る時間」を数秒程度とすることにより、実用的な範囲内で安全性を確保し、かつ出力を大きくして通信の信頼性を高くすることができる。露光時間tとしては、前述した数秒を多めに考えて6秒として、表1から放射照度Hを計算すると、次の式(3)、式(4) のようになる。

$$H = 11.5 \cdot C_4 \quad [\text{ただし、} C_4 = 10^{(L-700/500)}] \quad (\text{W/m}^2) \quad \dots(3)$$

$$H = 57.5 \quad (\text{W/m}^2) \quad \dots(4)$$

【0037】例えば、波長L (nm) が1000nm近

辺の半導体レーザー15を使用することを考えると、MPEは式(1)から45.7(W/m²)が得られる。コリメートレンズ21の径が100mmで、レンズのF値が1.8程度とすると、平行ビームL2の中心部の最大照度を45.7(W/m²)以下に抑えるためには、半導体レーザー15の出力パワーは65.8(mW)以下にする必要がある。

【0038】また、特に不特定の第三者に対する対策を必要とするのであれば、例えば図1において、半導体レーザー15とコリメートレンズ21の間に、必要な場合のみ光減衰フィルタを挿入できるような機構や、或いは出力制御回路17の設定を切り換えて、半導体レーザー15の出力を必要な時だけ小さくする機能を付する等の手段を設けてもよい。

【0039】図1において、冷却素子18は半導体レーザー15の発振波長の変動を或る程度抑えることと、半導体レーザー15の動作温度の上昇を防止して寿命を長くする目的のものであり、厳密に半導体レーザー15の温度管理はしていない。使用環境温度が-10~+60℃程度であれば、10nm程度の発振波長の変化は起こり得るので、半導体レーザー15は通常室温での値で規定される標準的な発振波長だけでなく、使用環境温度内で所要の波長条件を満たすようなものを使用しなければならない。

【0040】半導体レーザー15の出力が安全性のために制限されるという条件下で長距離の伝送を行うためには、吸収スペクトルの場所と大きさ、或いは散乱等の大気中の光の伝搬特性を正確に把握して、長距離伝送に必要な伝送特性が得られるような波長条件を求める必要がある。

【0041】大気吸収による光の減衰量の許容値は、通信のシステムや信号の形態等に依存し、一概に決めることはできないが、通常はコスト等の制限から余り大きな余裕を持ったシステム設計は行えないので、3dBから6dB(強度1/2~1/4)程度を減衰の許容値とすることが妥当である。

【0042】実際に、一般の光受信機は最小受信レベルが-30dBm~-40dBm程度で設計されており、それに対して先の式(1)、(2)より安全性を考慮して出力パワーを37mW(約16dBm)程度に抑えた場合に、途中の損失を考えるとビームの拡がり、偏心等による受信効率が20dB~23dB程度、雨、霧等散乱による損失が視界ぎりぎりの場合の13dBに3dBの余裕を持たせて最大16dB程度、シンチレーション変動によるレベル低下が3dB~6dBとなる。これから、受信点での光パワーを計算すると23dBm~29dBm程度となり、それ以外の吸収による減衰を含めた損失の許容量は、7dB~10dB程度というのが妥当であるということが分かる。ここでは、吸収による損失のみの許容量として、大きめに取って減衰を6dBを目安と

して考えることにする。

【0043】先の式(3)、(4)より安全性を考慮して出力パワーを65mW(約18dBm)程度に抑えた場合に、途中の損失を考えると最大16dB程度、レベル低下が3dB~6dBとなる。これから、受信点での光パワーを計算すると-21dBm~-27dBm程度となり、損失の許容量は9dB~13dB程度というのが妥当である。

【0044】先に述べたように、吸収による減衰の大きさは図14のスペクトルの大きさで推定することができ、1目盛が約15dB/50mに相当する。許容できる減衰量を6dBとして、光が伝搬して減衰が6dB程度に達する距離は、図14の1目盛に対して20m、図14の0.5目盛に対して40m、図14の0.2目盛に対して100m、図14の0.1目盛に対して200mとなる。ここで、0.1目盛程度の大きさの吸収スペクトルとなると、図14上では単なるギザギザ状となり、ノイズと区別し難くなるが、図13を合わせて見比べると図13上では0.5目盛以上の明確なスペクトルとなっているので識別できる。因みに、図14上の0.2目盛に相当するスペクトルは図13上では1~1.5目盛に、図14上の0.5目盛は図13上で3目盛前後、図14上の1目盛は図13上の4~5目盛に相当している。ここで、吸収スペクトルの大きさといっているのは、吸収のない位置のレベルを基準として、そのレベルからの落ち込みの大きさである。

【0045】このようにして図13も参考にして、図14から伝送距離に応じた使用可能な波長範囲を求めると、伝送距離が100m以上では967nm以上1110nm未満、1165nm以上1315nm未満、200m以上では986nm以上1090nm未満、1225nm以上1295nm未満となる。

【0046】本発明に係る赤外光空間通信装置は長距離通信をターゲットとしているので、伝送距離100m以上についてののみ求めたが、100m未満では全波長が使えるというわけではない。ここまでは、「波長1μm近辺以上の赤外域」という表現をしてきたが、赤外域と近赤外域の間に明確な境界があるわけではなく、それよりも吸収帯で区切って、それに挟まれた吸収のない波長域をひとまとめに取り扱うほうが妥当と考えられるので、ここでは950nmを中心とした吸収帯より上の波長を対象としている。また、波長1400nm以上では、光が角膜等で吸収されて網膜に達しないため眼に安全な波長域となるので、本発明の対象外となる。なお、本明細書で云う伝送距離は、使用者が実際にどの距離で使うかは装置製作時点では予測できないので、仕様や規格等で示される光空間通信装置自体の設計上の伝送距離とする。

【0047】大気吸収スペクトルのうち多くのものは水蒸気によるものであり、図14に示す吸収スペクトルの大きさは気温や湿度により異なる。図14の測定は気

温24℃、湿度42%で比較的大気の水蒸気量の少ない条件下である。従って、先の伝送距離別の波長帯はその分を考慮して1dB~2dBの余裕を設けてある。

【0048】このようにして伝送距離に応じて使用波長範囲を選択することにより、途中の伝送路での大気吸収による影響を少なくすることができ、またこれらの波長域は散乱による減衰や、背景光による雑音も小さいため、伝送路の減衰が少なく外乱雑音も少ないため、安全性の要求により半導体レーザーの出力が制限されても、信頼性の高い長距離での光空間通信が可能となる。

【0049】受光素子24には高速応答ができ、かつ増倍作用のあるInGaAsアバランシェフォトダイオード（以下APDと云う）が使用している。光空間通信装置の用途により受光素子にはInGaAsのPINフォトダイオードを使用することも可能である。APD、PINフォトダイオード何れの場合でも950nm~1400nmの波長域では十分な感度（量子効率）を有している。InGaAsの代りにGeのAPD又はPINフォトダイオードを使用することも可能である。

【0050】バンドパスフィルタ23は信号光の波長以外の、背景光等の波長成分を除去するためのものである。前述のように光空間通信装置は殆どが屋外に設置して使用されるため、昼間は信号光以外の周囲からの光が受光素子24に入射する。これを一般に背景光と呼んでいるが、この背景光が受光素子24に入射すると光起電流の直流成分によるショット雑音が増加し、信号のS/N比が低下する。そのために信号光の波長成分だけを通過させ、不要な背景光の波長成分を除去する目的で、バンドパスフィルタ23を受光素子24の前面に設けている。このバンドパスフィルタ23の透過域の波長は、発光源である半導体レーザー15の発振波長に合わせる必要があるから、先に述べた伝送距離に応じた波長範囲内になければならない。送信機11及び受信機12に用いているコリメートレンズ21及び集光光学系22に関しては、当然のことながら前述の波長帯において、必要な光学性能が得られるようにコーティング、収差等の設計が成されたものでなくてはならない。

【0051】図2は第2の実施例の構成図であり、2台の送受信機31、32が対向している。送受信機31内には半導体レーザー33、APD34が設けられ、それぞれ偏光ビームスプリッタ35を介して送受信するようになっている。また、送受信機32内にも同様に、半導体レーザー36、APD37が設けられ、偏光ビームスプリッタ38を介して送受信を行う。このとき、半導体レーザー33、36の発振光の偏光特性を利用して、半導体レーザー33からの光束がAPD37に入射し、半導体レーザー36からの光束がAPD34に入射するように構成され、双方向通信が可能となっている。これらの2台の送受信機31、32は互いに偏波面が90°ずつ異なる偏光により送信光と受信光を分離して、大気中

で双方向通信を行う光空間通信装置であって、90°ずつ偏波面の異なる前記偏光を互いに分離するための偏光ビームスプリッタ35、38を備えている。

【0052】この場合にも、半導体レーザー33、36の発振波長を第1の実施例と同様の伝送距離に応じた波長域とし、偏光ビームスプリッタ35、38もP偏光とS偏光を最も効率良く分離できる波長域が半導体レーザー33、36の発振波長と一致するように設計されたものを使用することにより、双方向通信での信号の伝送効率を高くすることができる。なお、このような効率良く分離できる波長域は、先に述べた伝送距離に応じた波長範囲内になければならない。

【0053】ここで、図3は偏光ビームスプリッタ35、38の代表的な偏光特性のグラフ図であり、図3中でP偏光とS偏光を最も効率良く分離できる波長域は、相対波長 g が1.00以上で1.05以下の波長域である。つまり、P偏光の透過率が95%以上でS偏光の透過率が5%以下の波長域である。

【0054】

【発明の効果】以上説明したように本発明に係る赤外光空間通信装置は、半導体レーザーの出力を眼に危険のないレベルに制御し、かつ発振波長を大気による吸収スペクトルを避けた波長に設定して減衰の影響から逃れることにより、長距離空間通信時の信頼性の向上と、人体に対する安全性の確保を同時に実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施例の構成図である。

【図2】第2の実施例の構成図である。

【図3】偏光ビームスプリッタの偏光特性のグラフ図である。

【図4】従来例の構成図である。

【図5】ミー散乱の散乱特性のグラフ図である。

【図6】大気中の分子による吸収スペクトルのグラフ図である。

【図7】炭酸ガスによる吸収スペクトルのグラフ図である。

【図8】水蒸気による吸収スペクトルのグラフ図である。

【図9】大気の透過率のグラフ図である。

【図10】太陽放射光のスペクトル分布のグラフ図である。

【図11】太陽放射光のスペクトル分布のグラフ図である。

【図12】太陽放射光のスペクトル分布のグラフ図である。

【図13】太陽放射光の吸収スペクトルのグラフ図である。

【図14】地上で白色光を50m伝搬させた場合の吸収スペクトルのグラフ図である。

【図15】吸収スペクトルを測定した際の測定系の構成

15

16

図である。

【図16】半導体レーザーの発振波長の温度特性図である。

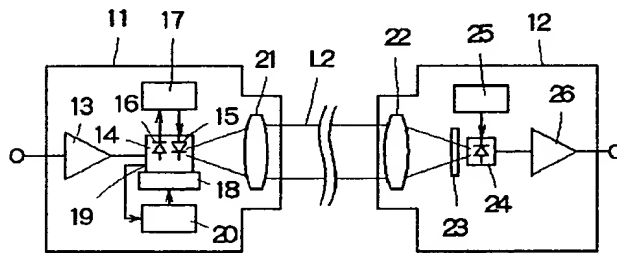
【図17】半導体レーザーの発振波長の温度特性図である。

【符号の説明】

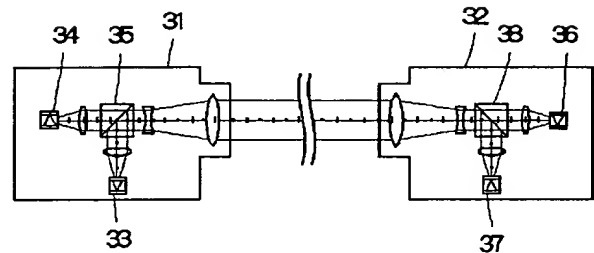
- 11 送信機
12 受信機
13、26 増幅器
14 パッケージ
15 半導体レーザー

- 16 出力モニタ用フォトダイオード
17 出力制御回路
18 冷却素子
19 温度センサ
20 温度制御回路
21 コリメートレンズ
22 集光光学系
23 バンドパスフィルタ
24 受光素子
10 25 電源

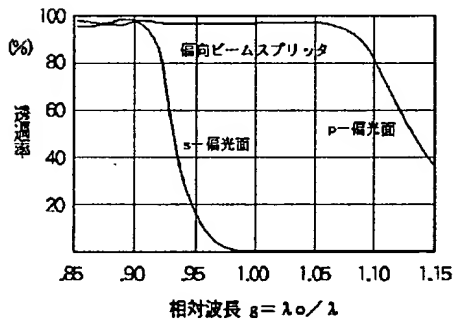
【図1】



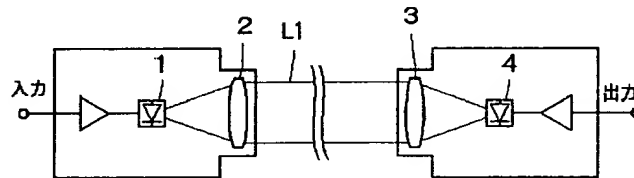
【図2】



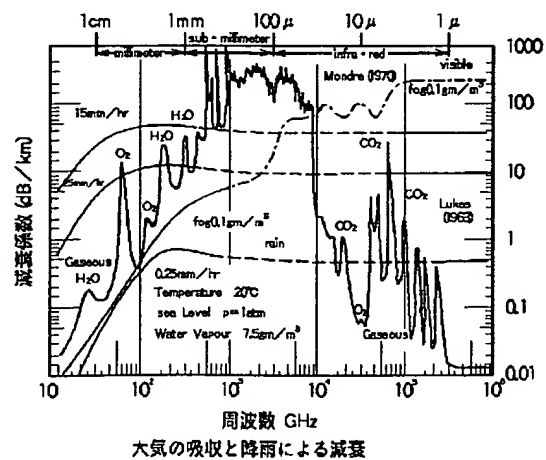
【図3】



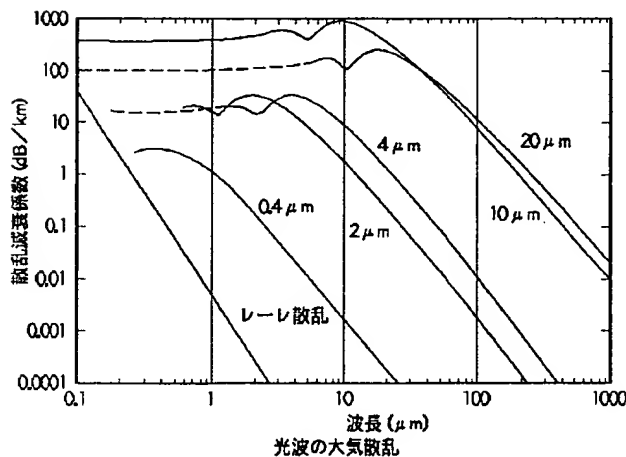
【図4】



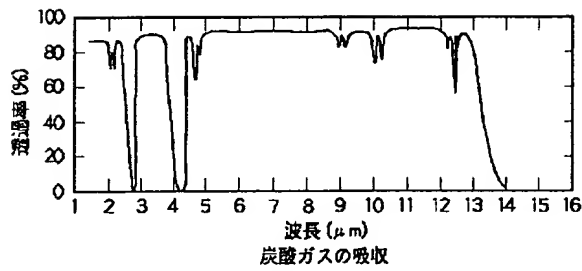
【図6】



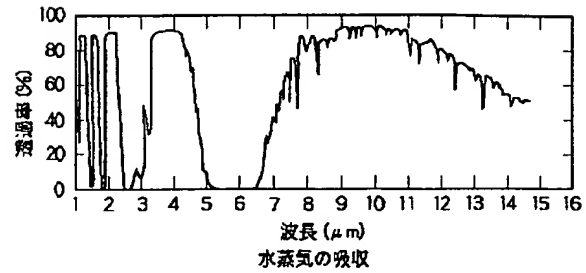
【図5】



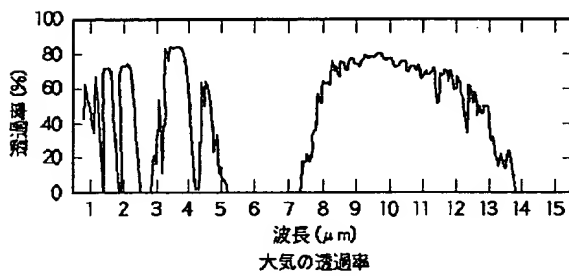
【図7】



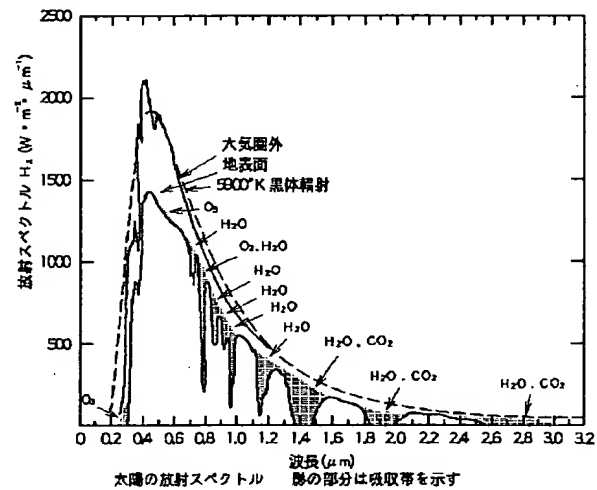
【図8】



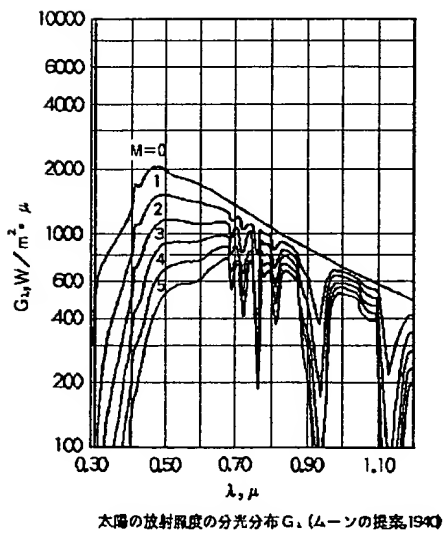
【図9】



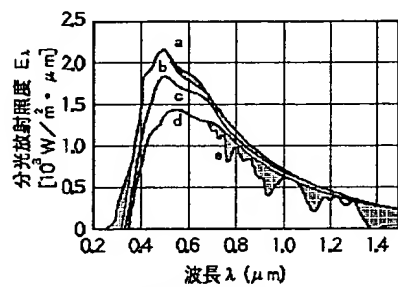
【図10】



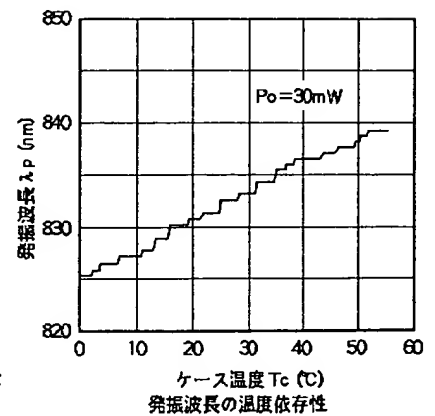
【図11】



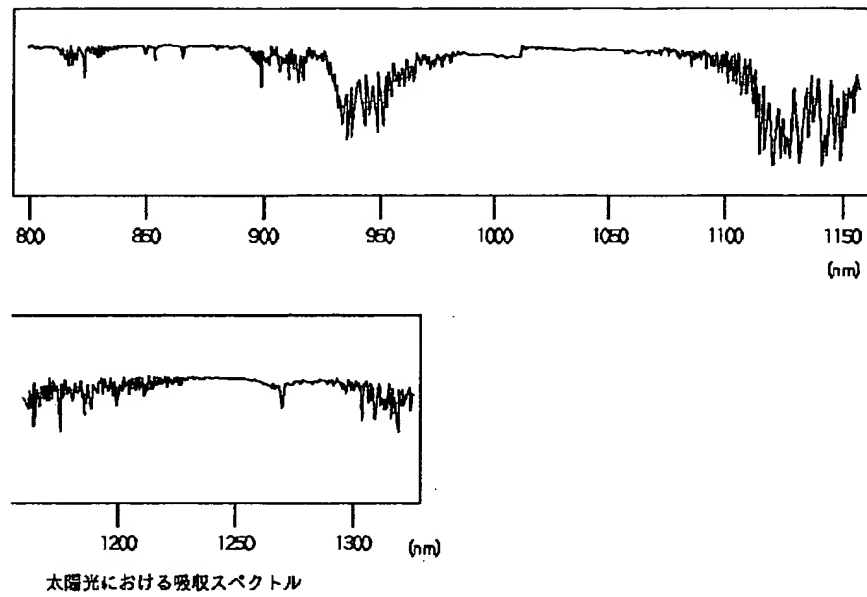
【図12】



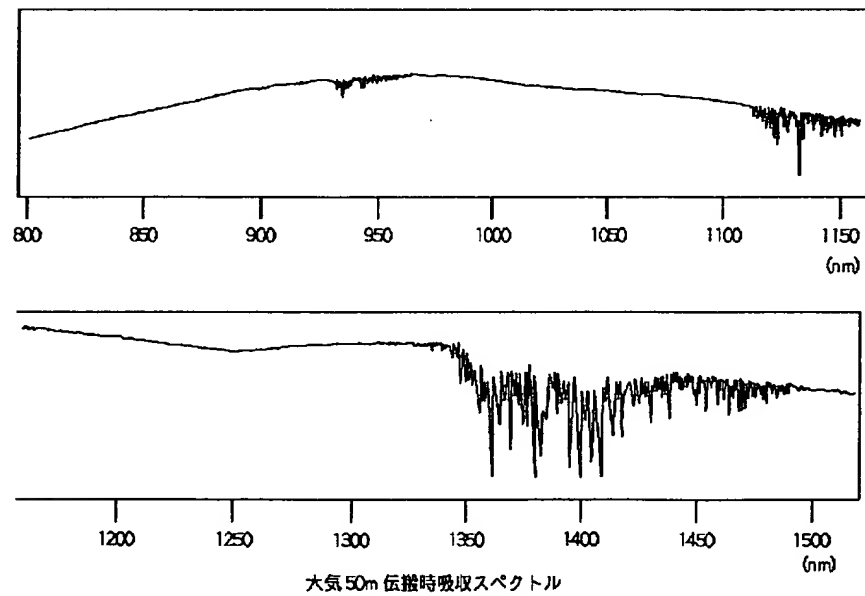
【図16】



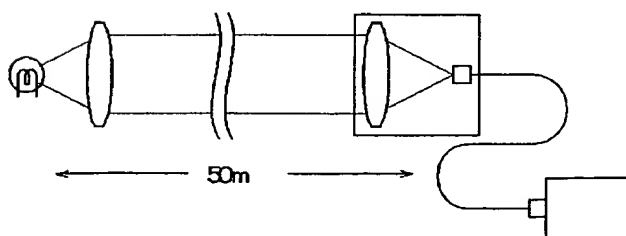
【図13】



【図14】



【図15】



【図17】

